

ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ТРАНСПОРТА

ГОСУДАРСТВЕННОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ

ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ

МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

ПУТЕЙ СООБЩЕНИЯ

МГУПС (МИИТ)

**Одобрено кафедрой
«Электрификация и
электрообеспечение»**

**РАСЧЕТ ЛИНЕЙНЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ЦЕПЕЙ ПОСТОЯННОГО
И ПЕРЕМЕННОГО ТОКА**

ЗАДАНИЕ НА КОНТРОЛЬНУЮ РАБОТУ

по дисциплине

ЭЛЕКТРОТЕХНИКА

с методическими указаниями

для студентов II курса

специальности 271501.65 Строительство железных дорог, мостов и транспортных тоннелей (СЖс)

специализаций:

«Строительство магистральных железных дорог» (ЖД)

«Управление техническим состоянием железнодорожного пути (ЖУ)»

«Мосты» (ЖМ)

«Тоннели и метрополитены (МТ)»

Москва 2012

Составители: к.т.н., проф. Н.И. Климентов,
к.т.н., доц. Л.Г. Ручкина,
к.т.н., доц. В.В. Орлов,
доц. Е.С. Гирина

Общие указания

Контрольная работа по дисциплине «Электротехника» предусматривает выполнение студентами трех задач, которые имеют 100 вариантов и отличаются друг от друга схемами и числовыми значениями заданных величин. Вариант, подлежащий решению, определяется по двум последним цифрам шифра студента: по последней цифре выбирается номер схемы, а по предпоследней – номер числовых значений величин. Например, шифру 1110-МТ-1324 соответствуют схемы 4 и вторые варианты числовых значений.

Требования к оформлению контрольной работы

1. Работа выполняется в отдельной тетради, на обложке которой указывают название дисциплины, курс, фамилию, имя, отчество, учебный шифр студента.
2. Писать следует на одной стороне листа или на двух при наличии широких полей для замечаний.
3. Условие задачи должно быть переписано в контрольную работу со схемой и числовыми значениями для своего варианта.
4. Расчетную часть каждой задачи следует сопровождать краткими и четкими пояснениями.
5. Основные положения решения объясняют и иллюстрируют электрическими схемами, чертежами, векторными диаграммами и т.д., которые выполняют аккуратно с помощью чертежного инструмента. На электрических схемах показывают положительные направления токов.
6. Выдерживают следующий порядок записи при вычислениях: сначала приводят формулу, затем подставляют числовые значения величин, входящих в формулу, без каких-либо преобразований, далее выполняют преобразования с числами, после этого записывают результат вычислений с указанием единиц измерения.
7. К работе прилагают перечень использованной литературы, в конце работы ставят дату и подпись.
8. Работы, выполненные не по своему варианту, а также написанные неразборчиво, не рецензируются.
9. Правильно выполненная контрольная работа возвращается к студенту с указанием «Допущен к зачету» и при необходимости с перечнем замечаний, которые студент должен исправить к зачету.
10. После получения отрецензированной работы студент должен исправить все ошибки и сделать требуемые дополнения. При большом количестве исправлений они делаются в конце работы.

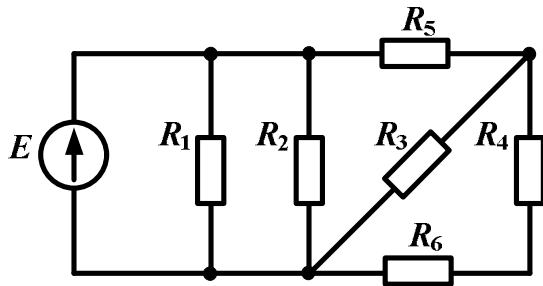
Задача № 1

Расчет разветвленной линейной электрической цепи постоянного тока с одним источником электрической энергии

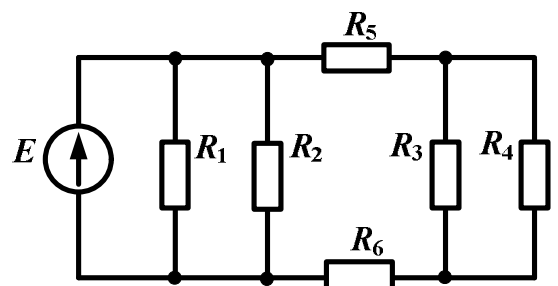
Для электрической цепи, вариант которой соответствует последней цифре учебного шифра студента и изображенной на рис. 1, определить:

1. Токи в ветвях методом преобразований.
2. Мощность, разветвляемую источником энергии и мощность потребителей. Проверить выполнение баланса мощностей.
3. Составить уравнения по первому закону Кирхгофа для узлов схемы. Составить уравнения по второму закону Кирхгофа для любого замкнутого контура, включающего источник с ЭДС E . Решать эту систему уравнений не следует.

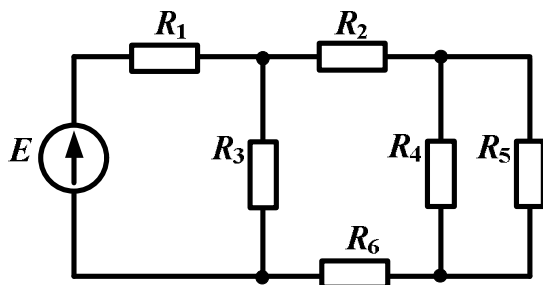
1.



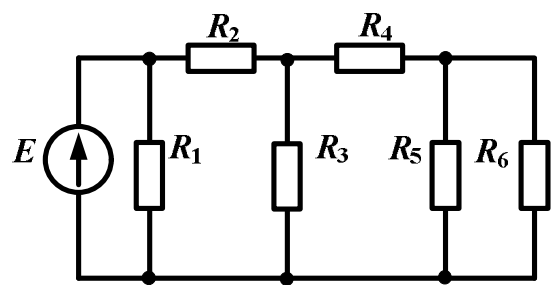
6.



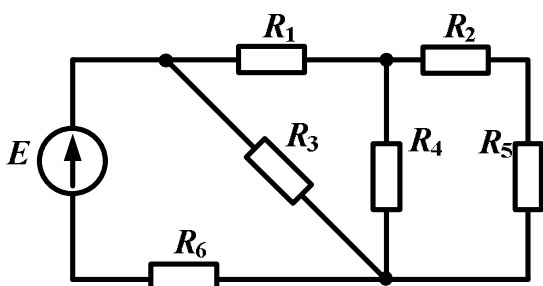
2.



7.



3.



8.

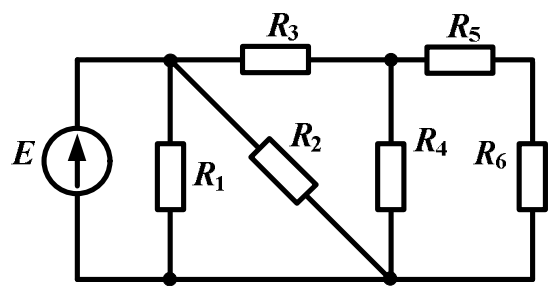


Рис. 1

4.

9.

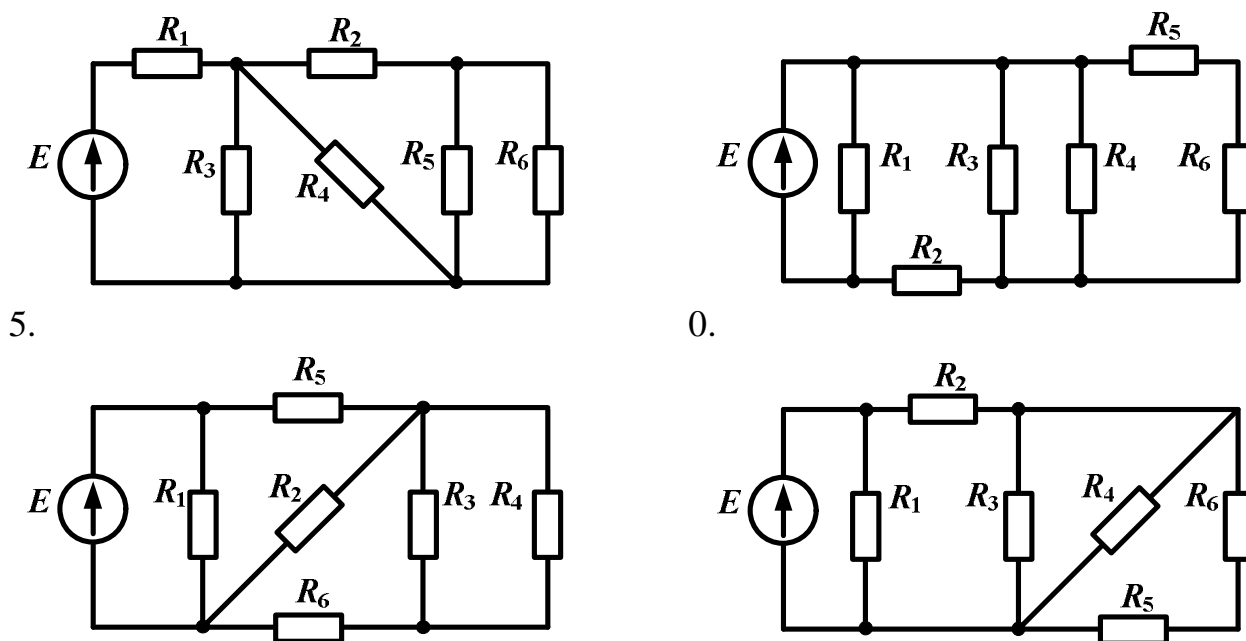


Рис. 1 (окончание)

Значения сопротивлений резисторов и ЭДС источника приведены в табл. 1.

Таблица 1

Параметры цепи (рис. 1)	Предпоследняя цифра учебного шифра студента									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
$E, В$	60	70	80	90	100	110	120	130	140	150
$R_1, Ом$	6	9	12	15	7	10	13	16	8	11
$R_2, Ом$	11	14	6	9	12	15	7	10	13	16
$R_3, Ом$	7	10	13	16	8	11	14	6	9	12
$R_4, Ом$	12	15	7	10	13	16	8	11	14	6
$R_5, Ом$	8	11	14	6	9	12	15	7	10	13
$R_6, Ом$	13	16	8	11	14	6	9	12	15	7

Теоретический материал и примеры расчета приведены в [2].

Методические указания к задаче № 1

Данная схема с одним источником ЭДС рассчитывается методом эквивалентных преобразований. Последовательно и параллельно включенные сопротивления заменяют эквивалентным $R_э$ по следующим формулам:

- а) при последовательном соединении сопротивлений R_1 и R_2 :

$$R_{\text{Э}} = R_1 + R_2;$$

б) при параллельном соединении сопротивлений R_1 и R_2 :

$$\frac{1}{R_{\text{Э}}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \text{ или } R_{\text{Э}} = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2}.$$

В результате преобразований вся сложная пассивная электрическая цепь заменяется одним эквивалентным сопротивлением $R_{\text{Э}}$.

Следующим шагом является расчет токов в ветвях. Стрелка внутри кружка с ЭДС показывает направление возрастания потенциала внутри источника. Ток во внешней цепи всегда течет от точки с большим потенциалом к точке с меньшим потенциалом.

Ток через ЭДС $I = E/R_{\text{Э}}$. Токи в ветвях вычисляются по закону Ома и законам Кирхгофа.

Первый закон Кирхгофа: алгебраическая сумма токов в узле электрической цепи равна нулю:

$$\sum I = 0.$$

Токи, входящие в узел, записываются со знаком «+», а токи, выходящие из узла, – со знаком «-».

Второй закон Кирхгофа: в любом замкнутом контуре электрической цепи алгебраическая сумма ЭДС равна алгебраической сумме напряжений на сопротивлениях, входящих в этот контур:

$$\sum E = \sum IR.$$

Со знаком «+» берутся те электрические величины, направление которых совпадает с произвольно выбранным направлением обхода контура.

При расчете токов в параллельных ветвях с сопротивлениями R_1 и R_2 можно воспользоваться формулой делителя, согласно которой:

$$I_1 = I \frac{R_2}{R_1 + R_2} \text{ и } I_2 = I \frac{R_1}{R_1 + R_2}$$

где I – ток в неразветвленной части цепи;

I_1 – ток в ветви с сопротивлением R_1 ;

I_2 – ток в ветви с сопротивлением R_2 .

Правильность решения задачи проверяется по балансу мощностей источника и приемника энергии: **сумма мощностей, отдаваемых источником энергии, должна равняться сумме мощностей, потребляемых приемниками:**

$$\sum EI = \sum I^2 R.$$

Задача № 2

Расчет неразветвленной линейной цепи переменного тока

Напряжение на зажимах цепи, вариант которой соответствует последней цифре учебного шифра студента и изображенной на рис. 2, изменяется по закону $u = U_m \sin \omega t$. Амплитудное значение напряжения U_m , значения активных сопротивлений r_1 и r_2 , индуктивностей катушек L_1 и L_2 , емкостей конденсаторов C_1 и C_2 приведены в табл. 2.

Частота питающего напряжения $f = 50$ Гц.

Необходимо:

1. Определить показания приборов, указанных на схеме рис. 2.
2. Построить векторную диаграмму токов и напряжений.
3. Определить закон изменения тока в цепи.
4. Определить закон изменения напряжения между точками, к которым подключен вольтметр.
5. Определить активную, реактивную и полную мощности источника, активную, реактивную и полную мощности приемников. Составить и оценить баланс мощностей. Рассчитать коэффициент мощности.
6. Определить характер (индуктивность, емкость) и параметры элемента, который должен быть включен в электрическую цепь для того, чтобы в ней имел место резонанс напряжений.

Таблица 2

Параметры цепи (рис.2)	Предпоследняя цифра учебного шифра студента									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
U_m , В	160	180	200	220	240	260	280	300	320	340
r_1 , Ом	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
r_2 , Ом	7	8	9	10	11	3	4	5	6	7
L_1 , Гн	0,01	0,02	0,03	0,04	0,05	0,01	0,02	0,03	0,04	0,05
L_2 , Гн	0,05	0,03	0,01	0,02	0,04	0,02	0,05	0,04	0,01	0,03
C_1 , мкФ	300	500	250	250	500	350	300	250	500	500
C_2 , мкФ	250	200	800	400	600	500	200	600	300	1600

Примечание. Из табл. 2 записываются данные только тех параметров, которые обозначены на выбранной схеме (см. рис. 2).

Теоретический материал и примеры расчета приведены в [1, 2, 4, 5]

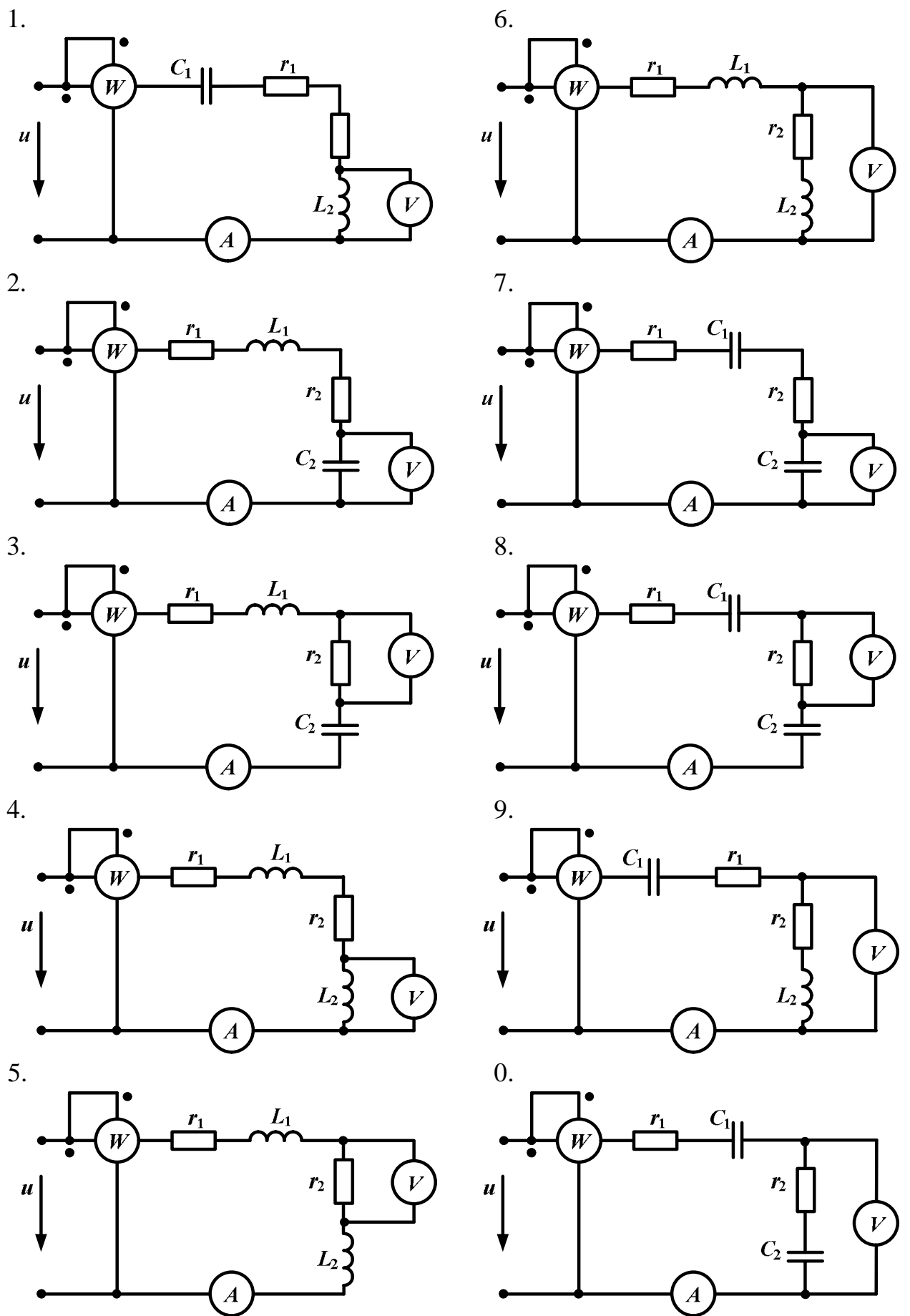


Рис. 2 (выбор схемы по последней цифре учебного шифра)

Методические указания к задаче № 2

1. Для расчета электрической цепи переменного тока сначала по частоте f , Гц, определяют угловую частоту $\omega = 2\pi f$, рад/с. Далее рассчитывают реактивные сопротивления индуктивностей x_L и емкостей x_C по следующим формулам:

$$x_L = \omega L \quad \text{и} \quad x_C = \frac{1}{\omega C}.$$

Для определения показаний приборов: амперметра, вольтметра и ваттметра, указанных на схеме, необходимо рассчитать полное сопротивление Z последовательной цепи переменного тока:

$$Z \sqrt{r^2 + (x_L - x_C)^2},$$

где r – сумма всех активных сопротивлений цепи;

x_L – сумма всех индуктивных сопротивлений цепи;

x_C – сумма всех емкостных сопротивлений цепи.

При расчете цепей переменного тока удобно пользоваться действующими значениями величин, поэтому находят действующее значение входного напряжения, изменяющегося по закону $u = U_m \sin \omega t$,

$$U = \frac{U_m}{\sqrt{2}}.$$

Амперметр и вольтметр, включенные в цепь на рис. 2, изменяют действующие значения тока в цепи и напряжения на элементах, из показания определяют по закону Ома. Ваттметр, включенный так, как показано на рис. 2, измеряет активную мощность цепи $P = I^2 r$.

2. Построение векторной диаграммы начинают с вектора тока I , так как он является общим для всех участков цепи, его откладывают в выбранном масштабе токов горизонтально. Рассчитывают по закону Ома напряжения на отдельных элементах схемы.

За положительное направление вращения электрических векторов принято направление против движения часовой стрелки. **Ток и напряжение на активном сопротивлении совпадают по фазе, ток через индуктивность отстает от напряжения на ней на 90° , ток через емкость опережает напряжение на ней на 90° .**

Поэтому вектор напряжения на активном сопротивлении U_r направляют по вектору тока, вектор напряжения на индуктивности U_L направляют под углом $+90^\circ$ к вектору тока (вертикально вверх). Вектор напряжения на емкости U_C откладывают под углом -90° к вектору тока (вертикально вниз).

Напряжение, подведенное к схеме, равно сумме напряжений на отдельных элементах, поэтому, сложив геометрически эти вектора, можно построить вектор напряжения на входе схемы U .

Проверить построение векторной диаграммы можно по углу φ между напряжением U и током I :

$$\varphi = \operatorname{arctg} \frac{x_L - x_C}{r}.$$

3. Если напряжение изменяется по закону $u = U_m \sin \omega t$, то закон изменения тока в цепи $i = I_m \sin(\omega t \pm |\varphi|)$ (знак «+» – если ток опережает напряжение, знак «-» – если ток отстает от напряжения).

4. Закон изменения напряжения между точками, к которым подключен вольтметр, можно определить по векторной диаграмме, если на ней отметить эти точки.

5. Полная мощность источника, ВА, $S_{\text{ист}} = UI$. Активная мощность приемников $P_{\text{ист}} = UI \cos \varphi$, реактивная мощность, вар, $Q_{\text{ист}} = UI \sin \varphi$ (имеет знак «+» или «-»). Активная мощность приемников $P_{\text{пр}} = I^2 r$, реактивная мощность приемников $Q_{\text{пр}} = Q_L - Q_C = I^2 x_L - I^2 x_C$. Полная мощность приемников $S_{\text{пр}} = \sqrt{P_{\text{пр}}^2 + Q_{\text{пр}}^2}$.

6. Резонанс напряжений имеет место в последовательной цепи r, L, C в том случае, если общее реактивное сопротивление цепи равно нулю.

Задача № 3 Расчет трехфазной цепи

К трехфазному источнику подключен несимметричный трехфазный приемник, соединенный «звездой» с нейтральным проводом (рис. 3). Значения линейного напряжения $U_{л}$, сопротивлений резисторов r_1 , r_2 и r_3 , реактивных элементов цепи x_L и x_C приведены в табл. 3.

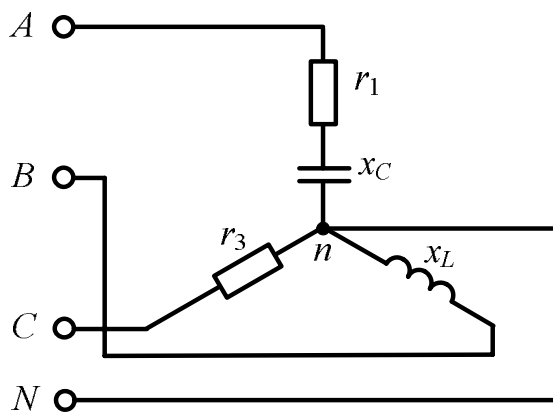
Требуется:

1. Определить фазные напряжения, линейные токи и ток в нейтральном проводе (ток в нейтральном проводе можно определить графическими построениями).
2. Определить активную, реактивную и полную мощности, потребляемые трехфазным приемником.
3. Построить в масштабе векторную диаграмму напряжений и на ней показать векторы токов.

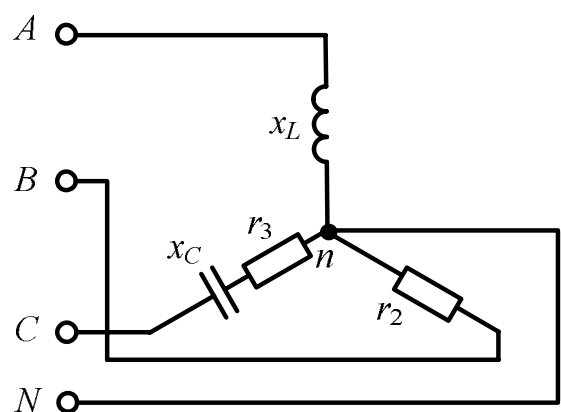
Таблица 3

Предпоследняя цифра учебного шифра студента	$U_{л}$, В	r_1 , Ом	r_2 , Ом	r_3 , Ом	x_L , Ом	x_C , Ом
1	660	25	30	60	15	30
2	380	35	35	45	10	30
3	220	20	40	35	25	10
4	660	25	40	30	15	35
5	380	40	45	45	20	25
6	220	30	25	20	20	35
7	660	20	30	25	25	25
8	380	38	40	50	25	40
9	220	60	40	40	20	25
0	380	30	20	15	25	15

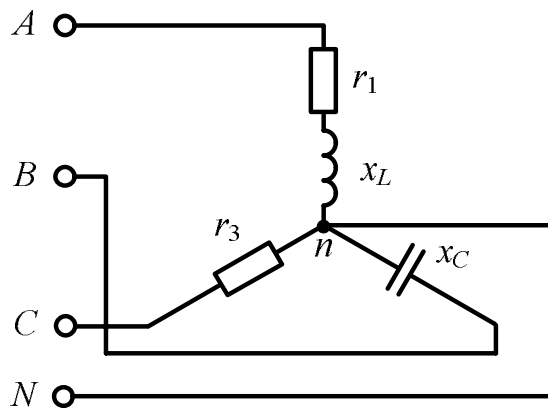
1.



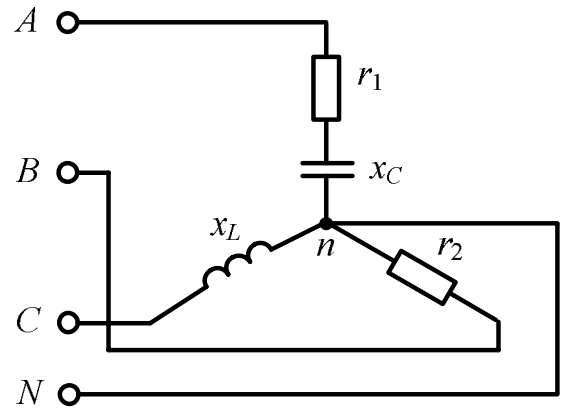
2.



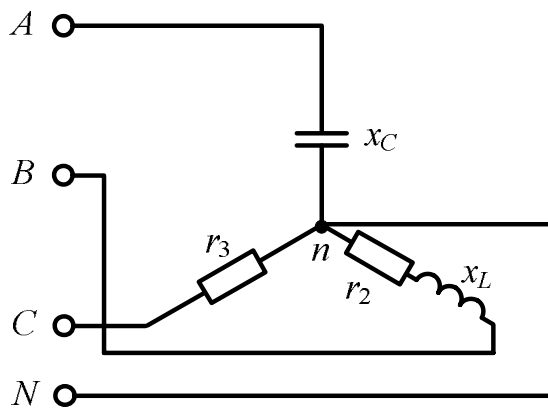
3.



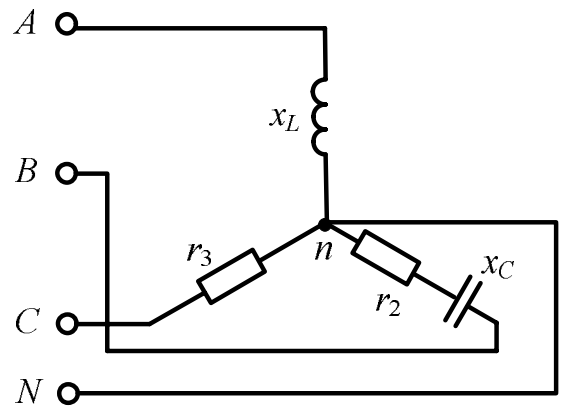
4.



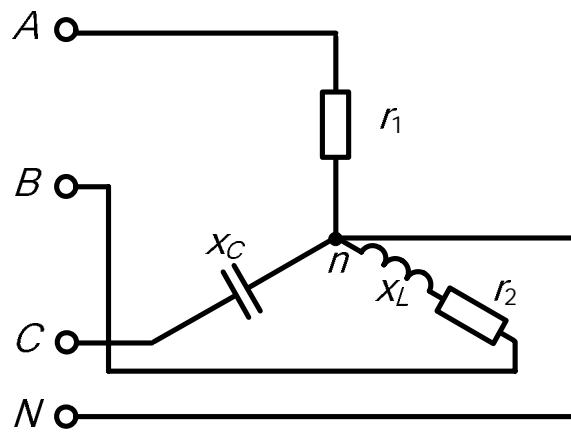
5.



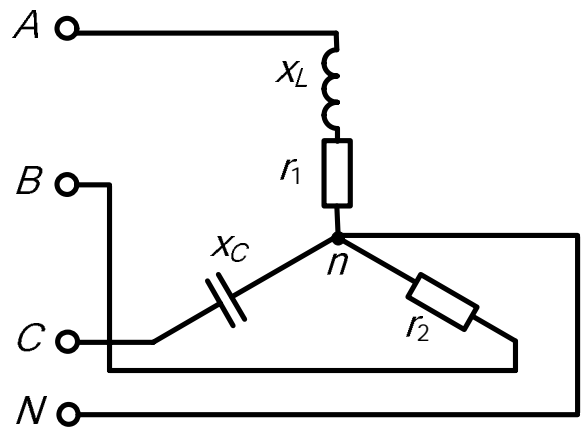
6.



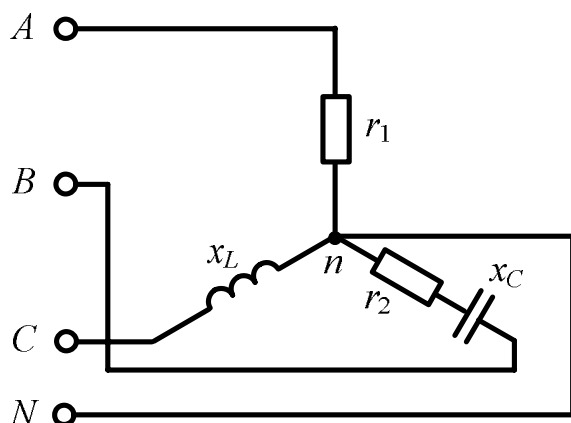
7.



8.



9.



0.

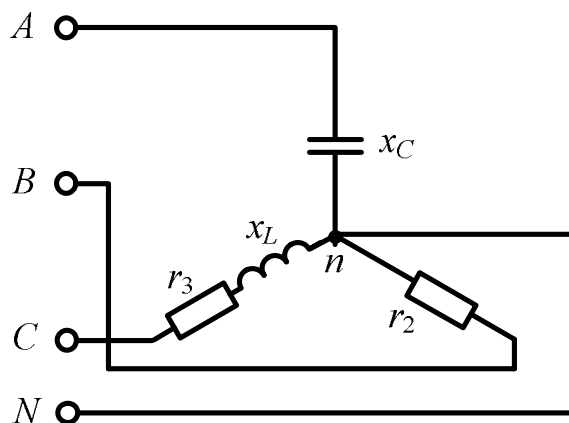


Рис. 3

Методические указания к задаче № 3

Трёхфазные системы синусоидального тока являются наиболее распространёнными системами электроснабжения. Теория трёхфазных цепей базируется на теории однофазных цепей синусоидального тока.

Трёхфазными цепями называется особая совокупность трех электрических цепей, в которой действуют три синусоидальные ЭДС одинаковой частоты с одинаковыми амплитудами, попарно сдвинутые между собой по фазе на одинаковые углы 120° , и создаваемые одним источником – трёхфазным генератором. Отдельные однофазные электрические цепи, входящие в состав трёхфазной цепи, называют фазами: A , B , C .

Напряжения U_{AB} , U_{BC} , U_{CA} между линейными проводами, соединяющими источник и приемник, называют линейными напряжениями.

При соединении приемника *звездой с нейтральным проводом* к нему подводятся фазные напряжения U_A , U_B , U_C (рис. 4).

Если сопротивления линейных и нейтрального проводов пренебрежимо малы, то фазные напряжения приемника равны соответствующим фазным напряжениям источника

Действующее значение фазного напряжения источника можно определить по заданному линейному напряжению

$$U_{\phi} = U_{\text{л}} / \sqrt{3}.$$

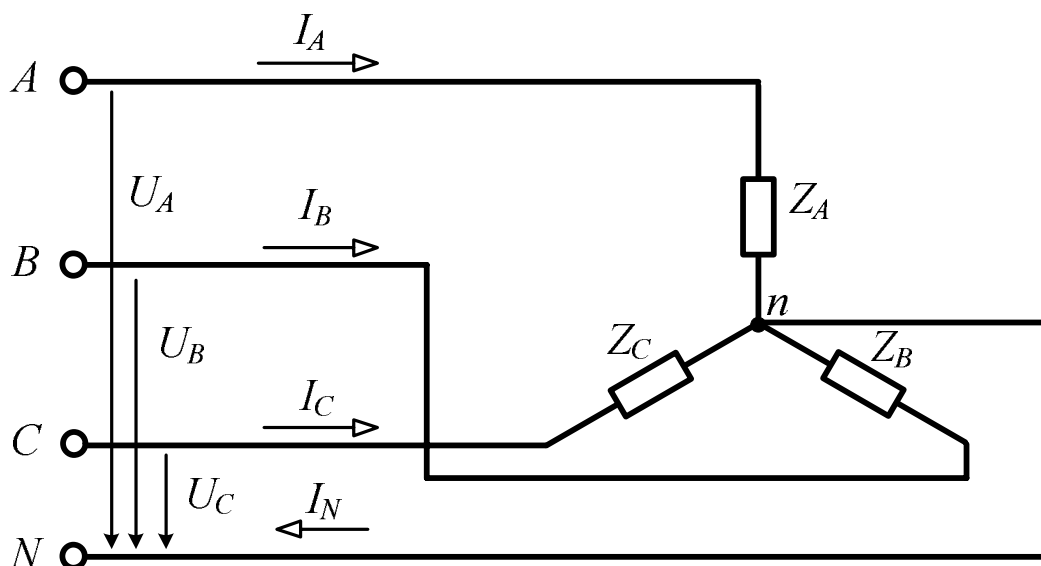


Рис. 4

Фазные токи I_A , I_B , I_C определяются по закону Ома

$$I_A = \frac{U_A}{Z_A}, \quad I_B = \frac{U_B}{Z_B}, \quad I_C = \frac{U_C}{Z_C},$$

где Z_A , Z_B , Z_C – полные сопротивления фаз приемника.

Ток в нейтральном проводе I_N определяется в соответствии с первым законом Кирхгофа и равен *геометрической* сумме фазных токов.

Активная мощность трехфазного приемника при соединении звездой равна сумме активных мощностей фаз, т.е.

$$P_{\text{пр}} = P_A + P_B + P_C.$$

Реактивная мощность трехфазного приемника при соединении звездой определяется как алгебраическая сумма реактивных мощностей фаз

$$Q_{\text{пр}} = \pm Q_A \pm Q_B \pm Q_C.$$

Следует иметь в виду, что при суммировании реактивная мощность индуктивных элементов берется со знаком плюс, а емкостных – со знаком минус.

По значениям $P_{\text{пр}}$ и $Q_{\text{пр}}$ вычисляется полная мощность трехфазного приемника

$$S_{\text{пр}} = \sqrt{P_{\text{пр}}^2 + Q_{\text{пр}}^2}.$$

Следует помнить, что при определении полной мощности несимметричного трехфазного приемника недопустимо суммировать модули полных мощностей отдельных фаз, т.е. $S_{\text{пр}} \neq S_A + S_B + S_C$.

Построение векторной диаграммы напряжений трехфазной цепи при соединении приемников звездой с нейтральным проводом показано на рис.5.

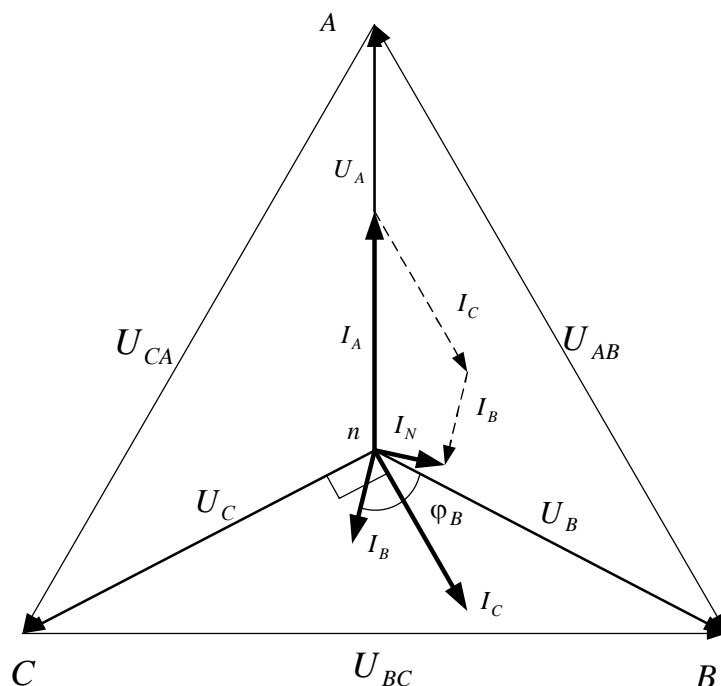


Рис. 5

В выбранном масштабе напряжений строят равносторонний треугольник линейных напряжений U_{AB} , U_{BC} , U_{CA} . Пересечение биссектрис углов треугольника определяет положение нейтрали источника (точки n). Векторы фазных напряжений U_A , U_B , U_C получают, соединив точку n с вершинами A , B , C .

Затем в масштабе токов строят векторы токов, начала которых совмещают с точкой n .

При построении векторов токов необходимо учитывать, что **ток и напряжение на активном сопротивлении совпадают по фазе; ток через индуктивный элемент отстает по фазе от напряжения на этом элементе на 90° ; ток через емкостной элемент опережает по фазе напряжение на нем на 90°** . За положительное направление вращения электрических векторов принято направление против движения часовой стрелки.

На рис. 3 показан вариант векторной диаграммы для случая, когда сопротивление Z_A – чисто активное (I_A совпадает с U_A), Z_B – активно-индуктивное (I_B отстает от U_B на угол φ_B), Z_C – емкостное (I_C опережает U_C на угол 90°). Ток в нейтральном проводе I_N равен геометрической сумме токов I_A , I_B и I_C .

РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА

Основная

1. Касаткин А.С., Немцов М.В. Электротехника. М.:Высшая школа, 2005.
2. Сатаров А.А. Электротехника и электроника. Линейные электрические цепи постоянного тока: Учебное пособие. М.: РГОТУПС, 2006.
3. Климентов Н.И. Электротехника. Линейные электрические цепи однофазного переменного тока: Конспект лекций. М.: РГОТУПС, 2007.

Дополнительная

4. Электротехника/ Б.А. Волынский, Е.Н. Зейн, В.Е. Шатерников. – М.: Энергоатомиздат, 1987.
5. Электротехника и электроника/ Под ред. В.Г. Герасимова. В 3-х т. – Том 1. М.: Высшая школа, 1996.
6. Сборник задач по электротехнике и основам электроники/ Под ред. В.Г. Герасимова. – М.: Высшая школа, 1987.
7. Частоедов Л.А., Гирина Е.С. Теоретические основы электротехники. Часть I. Учебное пособие. М.: РГОТУПС, 2004.

Примечание. В случае отсутствия указанной выше литературы для изучения курса пригодны любые учебники и задачки с названием «Электротехника» для неэлектротехнических специальностей вузов.